









Tema 7: EDI
Electro Des Ionización

José Luis Pérez Talavera

Las Palmas 29 de Octubre a 13 de Noviembre de 2.021

Intercambio iónico

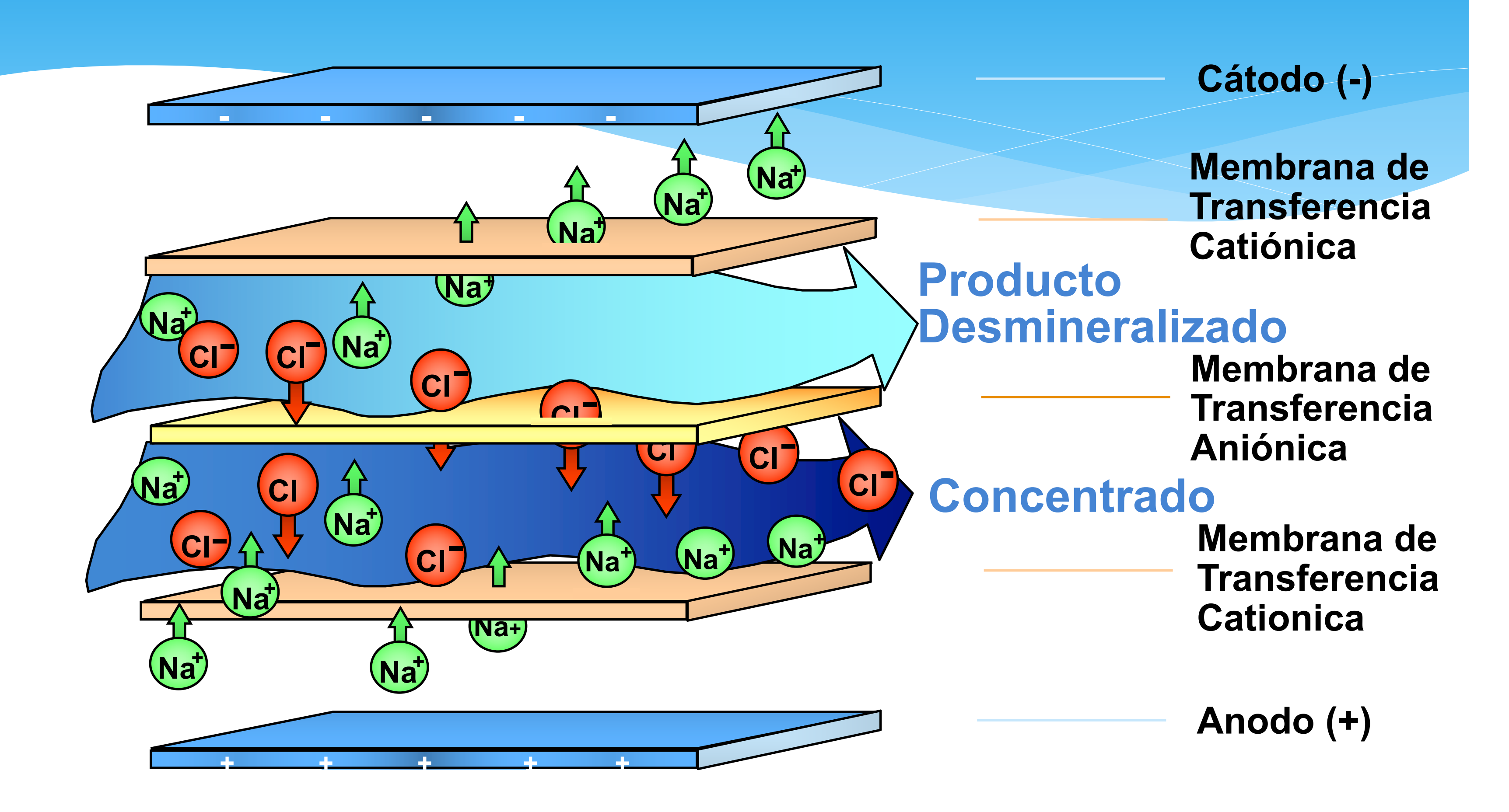
* El intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo, que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil.

* Este proceso tiene lugar constantemente en la naturaleza.

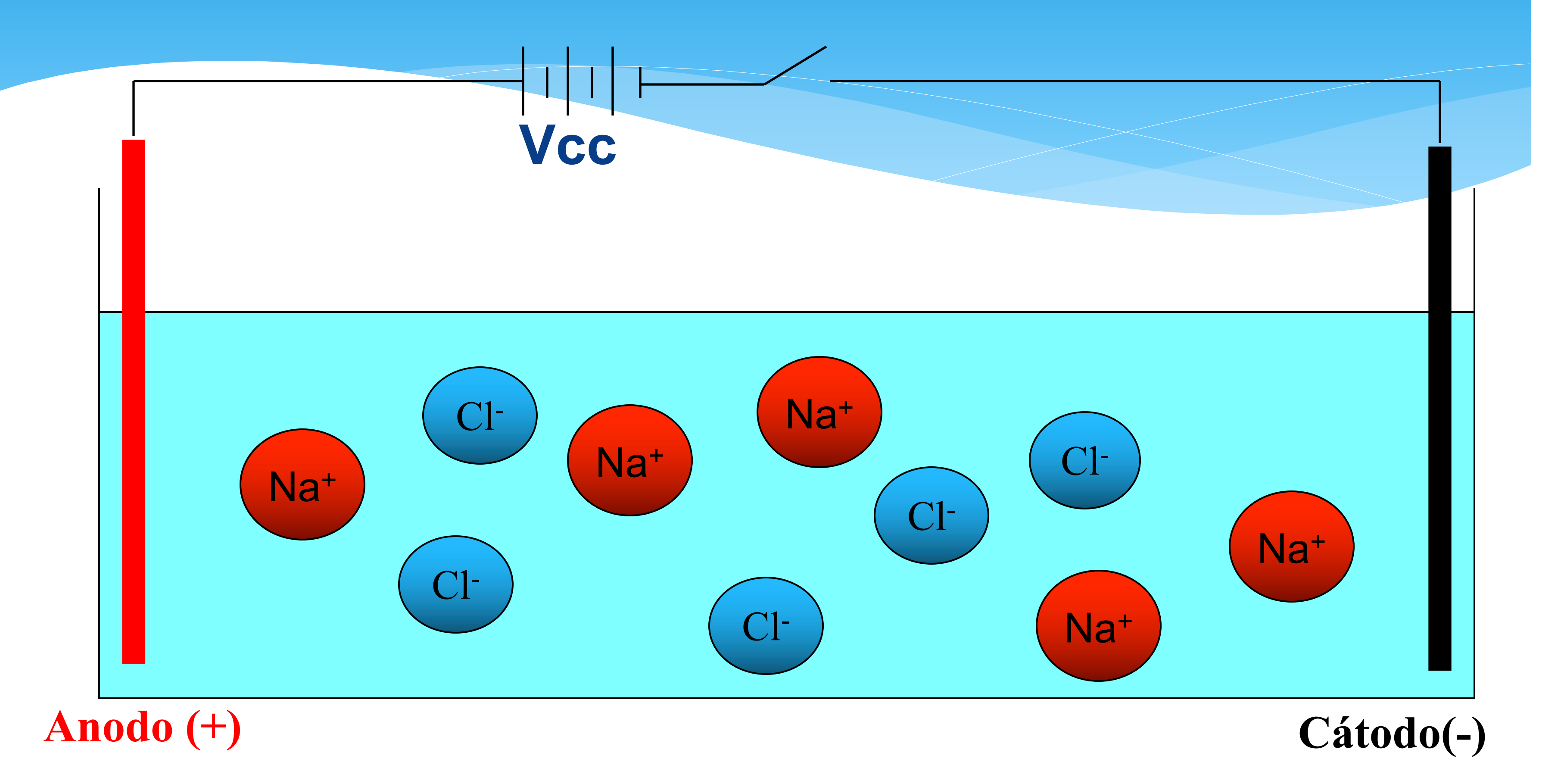
¿Qué es la Electrodiálisis?

* La Electrodiálisis es un proceso de separación electroquímica en donde los Iones son transferidos a través de membranas de intercambio iónico por medio de corriente continua (VCC)

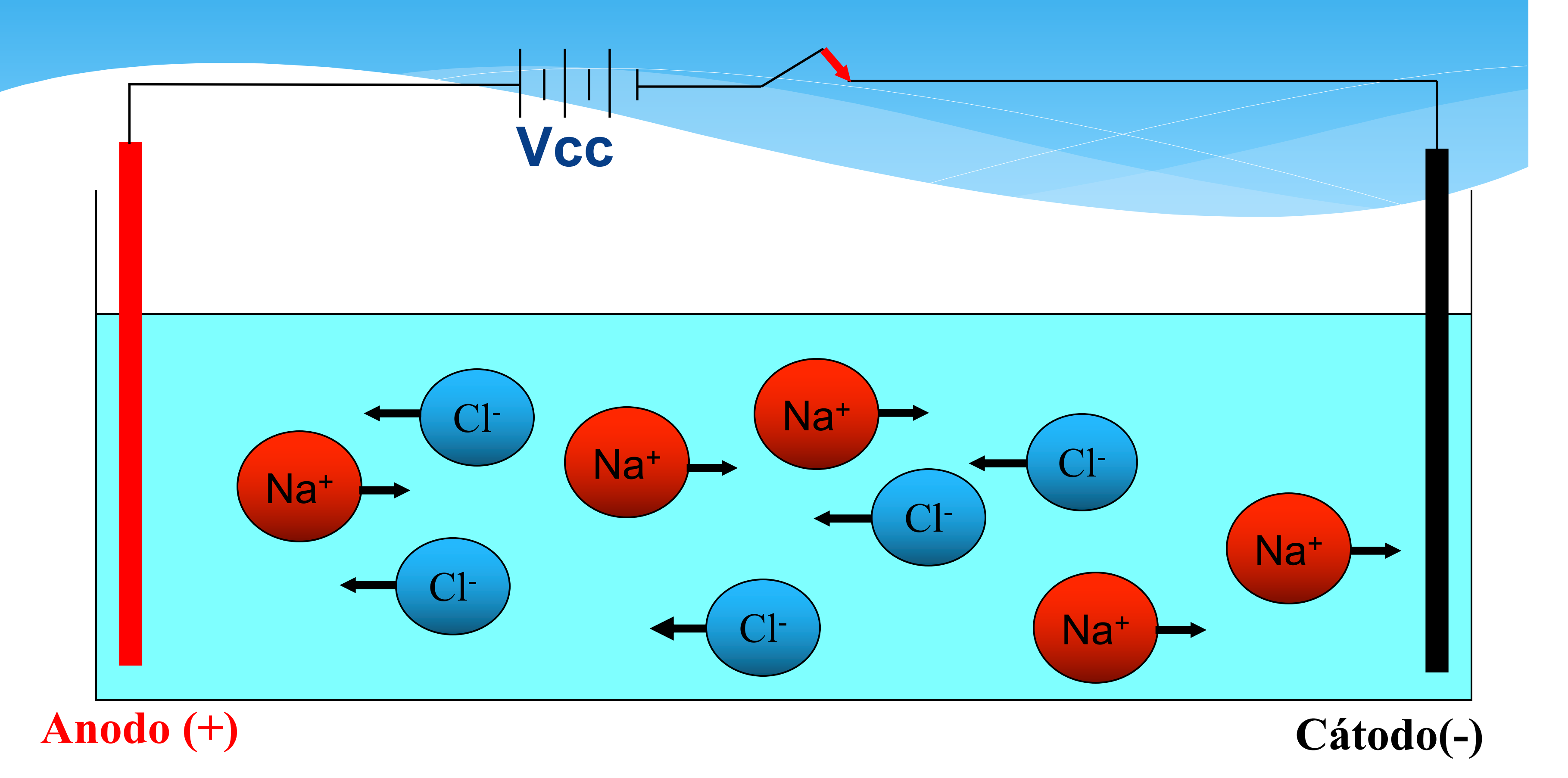
Proceso de Electrodiálisis



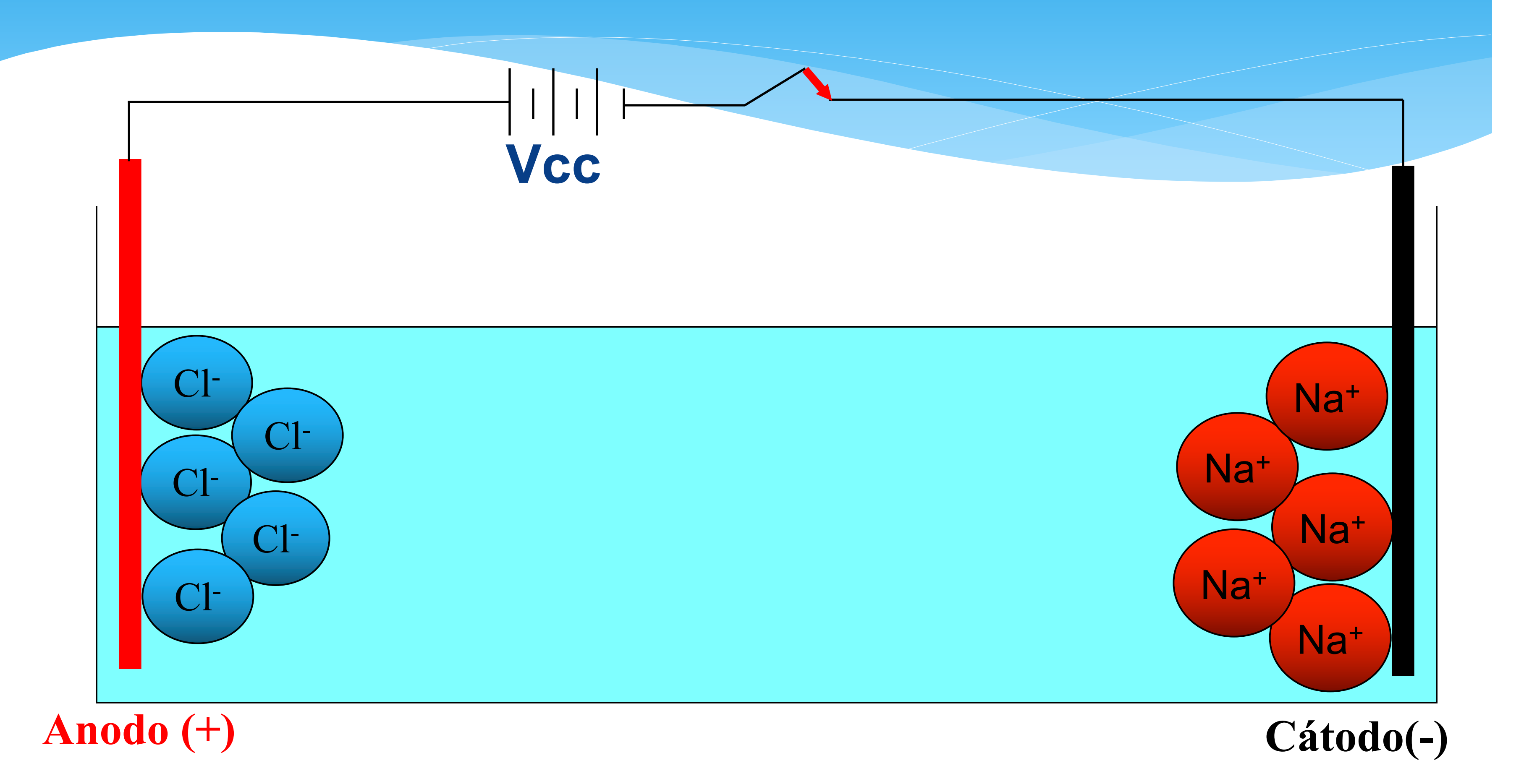
Celda Electrolítica



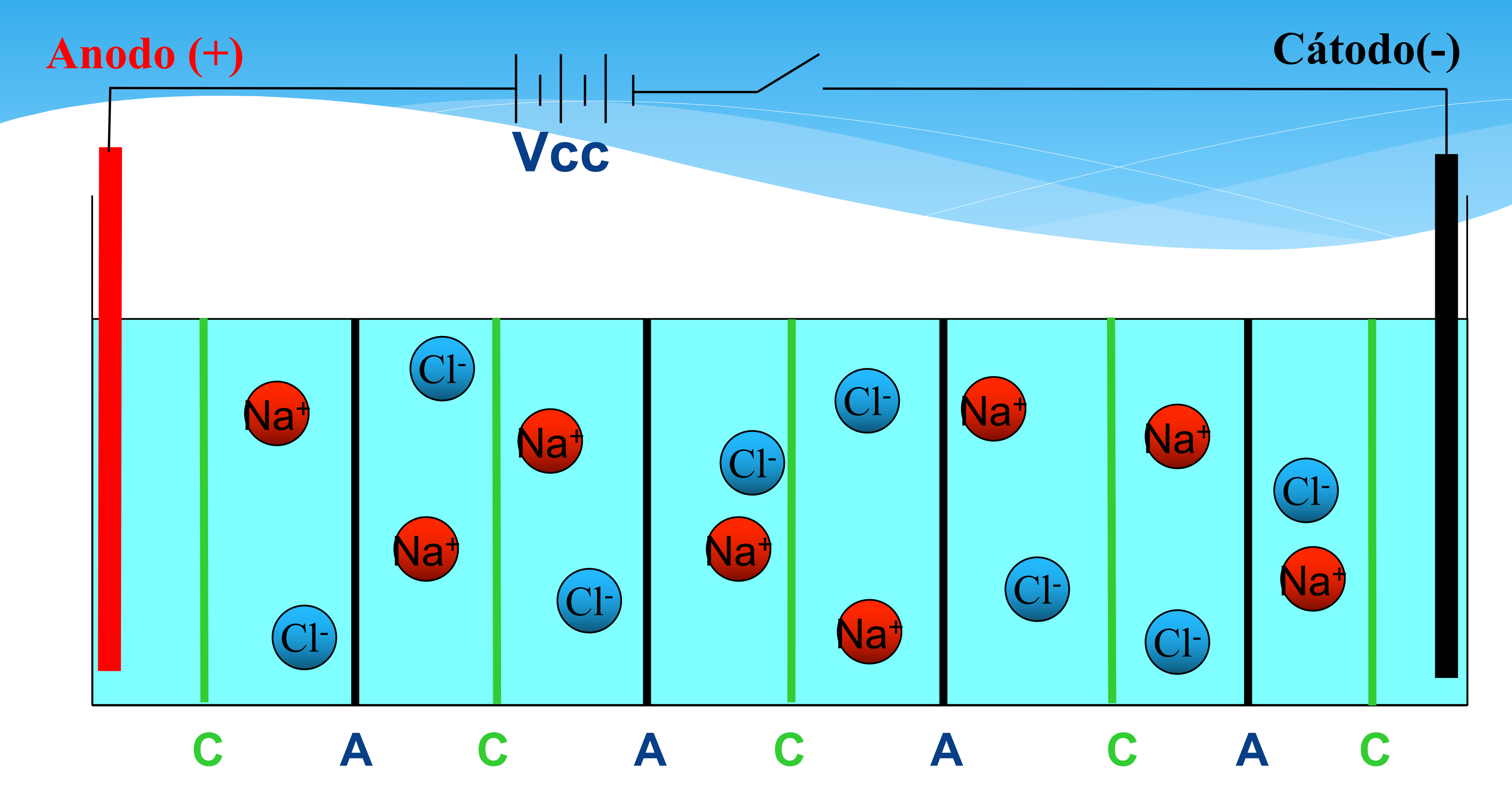
Celda Electrolítica



Celda Electrolítica



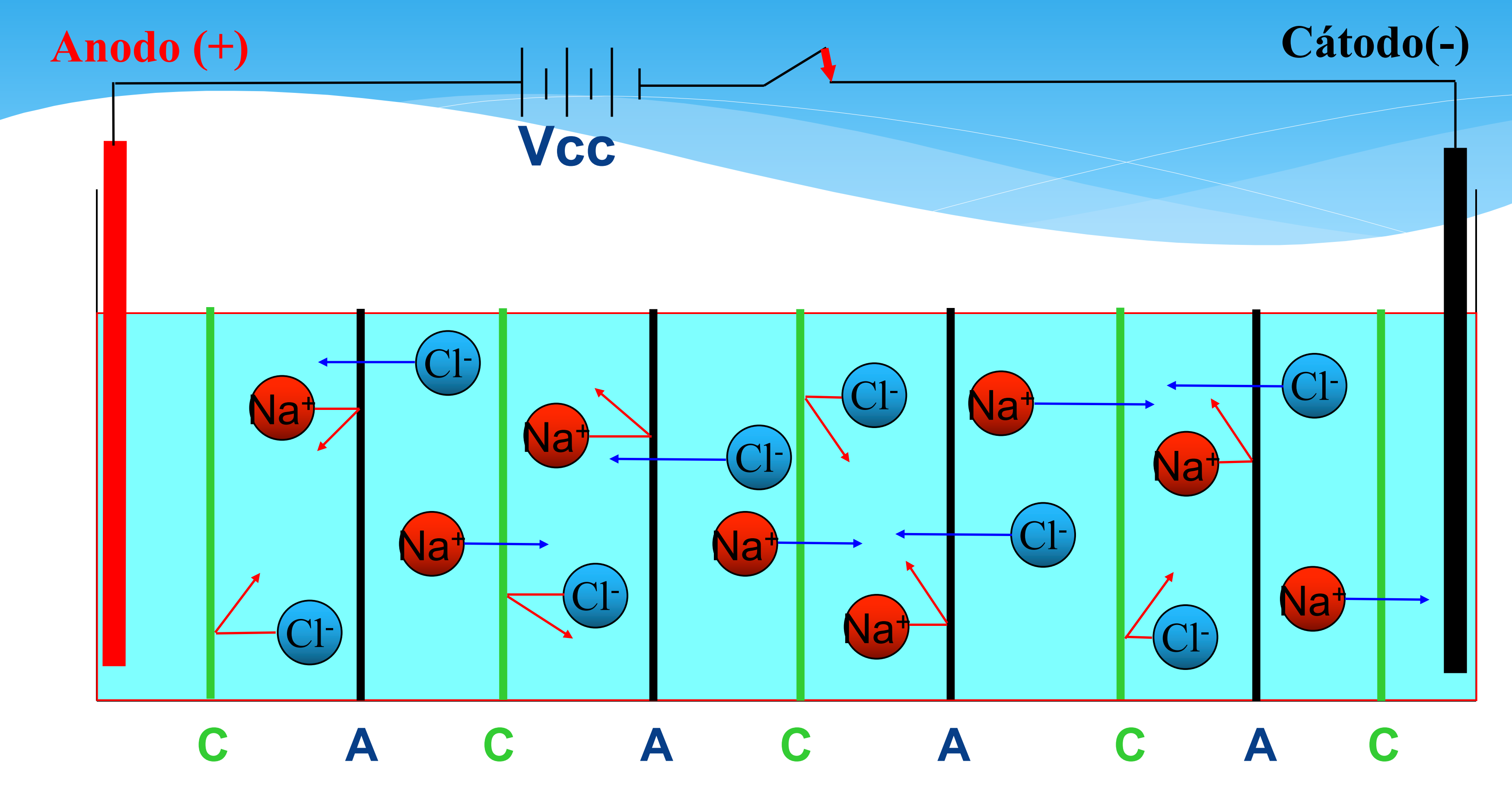
Celda Electrolítica



A = Membrana Aniónica. **Solo permite el paso a iones -**

C = Membrana Catiónica. **Solo permite el paso a iones +**

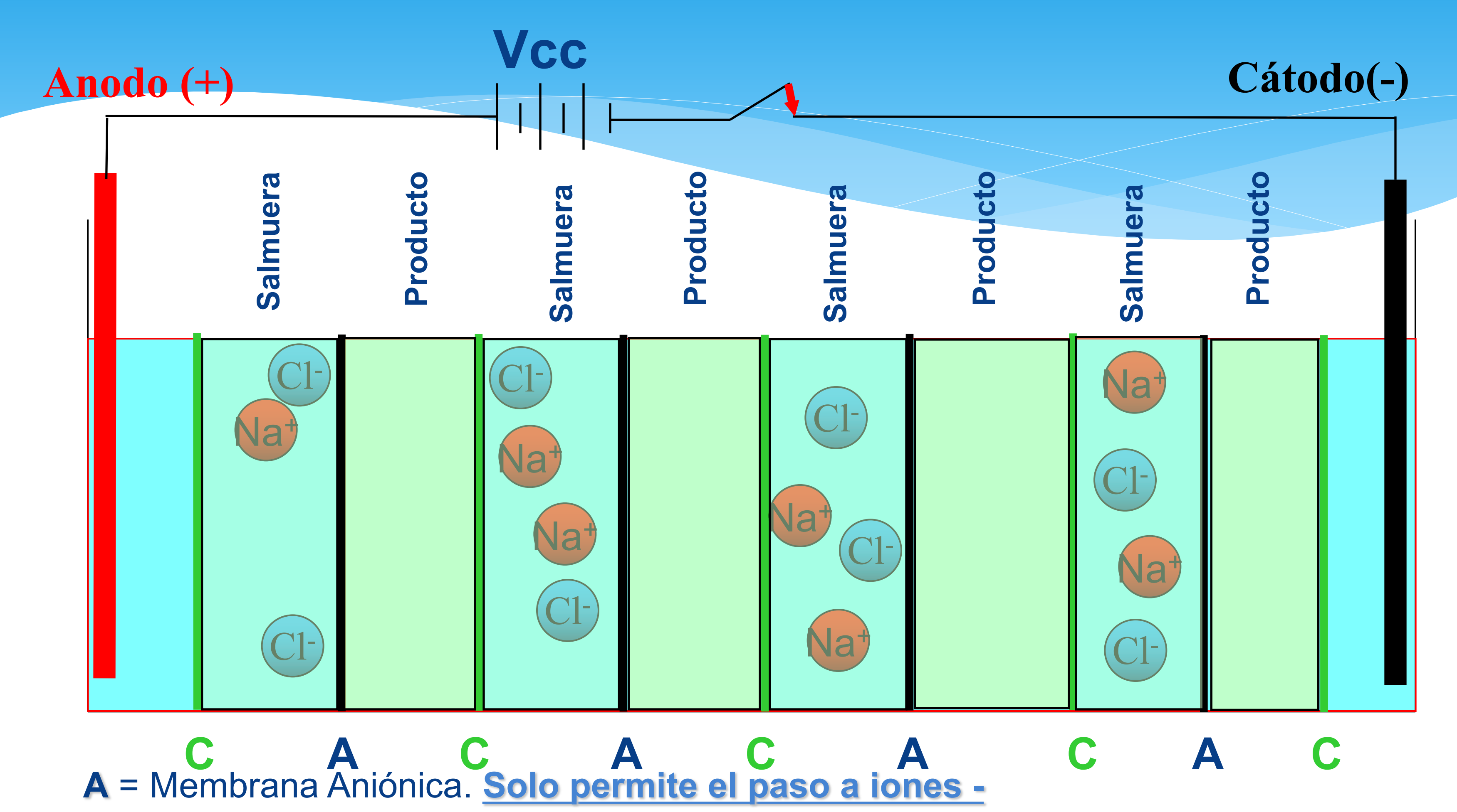
Celda Electrolítica



A = Membrana Aniónica. **Solo permite el paso a iones -**

C = Membrana Catiónica. **Solo permite el paso a iones +**

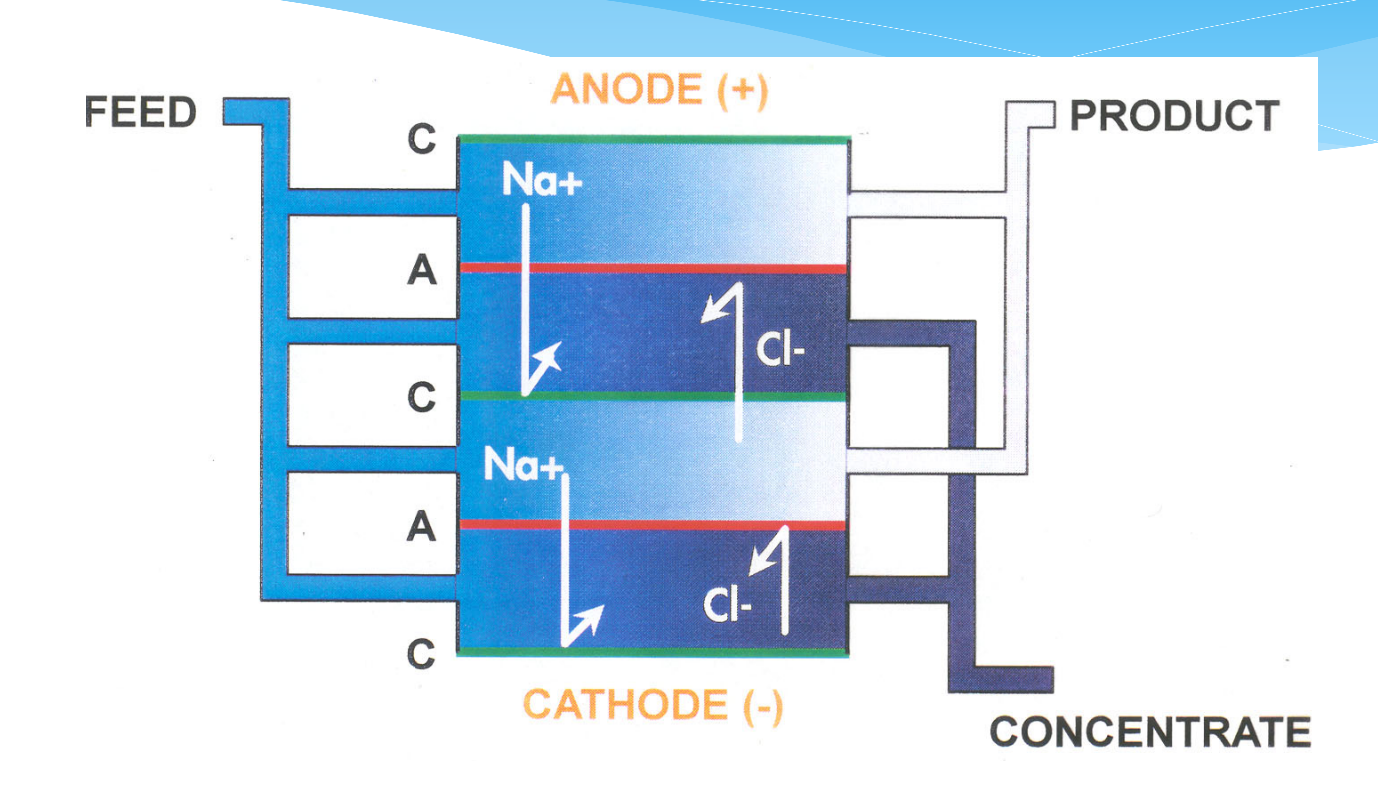
Celda Electrolítica



A = Membrana Aniónica. **Solo permite el paso a iones -**

C = Membrana Catiónica. **Solo permite el paso a iones +**

Electrodiálisis



Principios del Proceso

* El proceso de electro des ionización remueve las especies ionizables de los líquidos usando medios activos eléctricamente (Resinas de intercambio iónico) y potenciales eléctricos para influir sobre el transporte iónico.

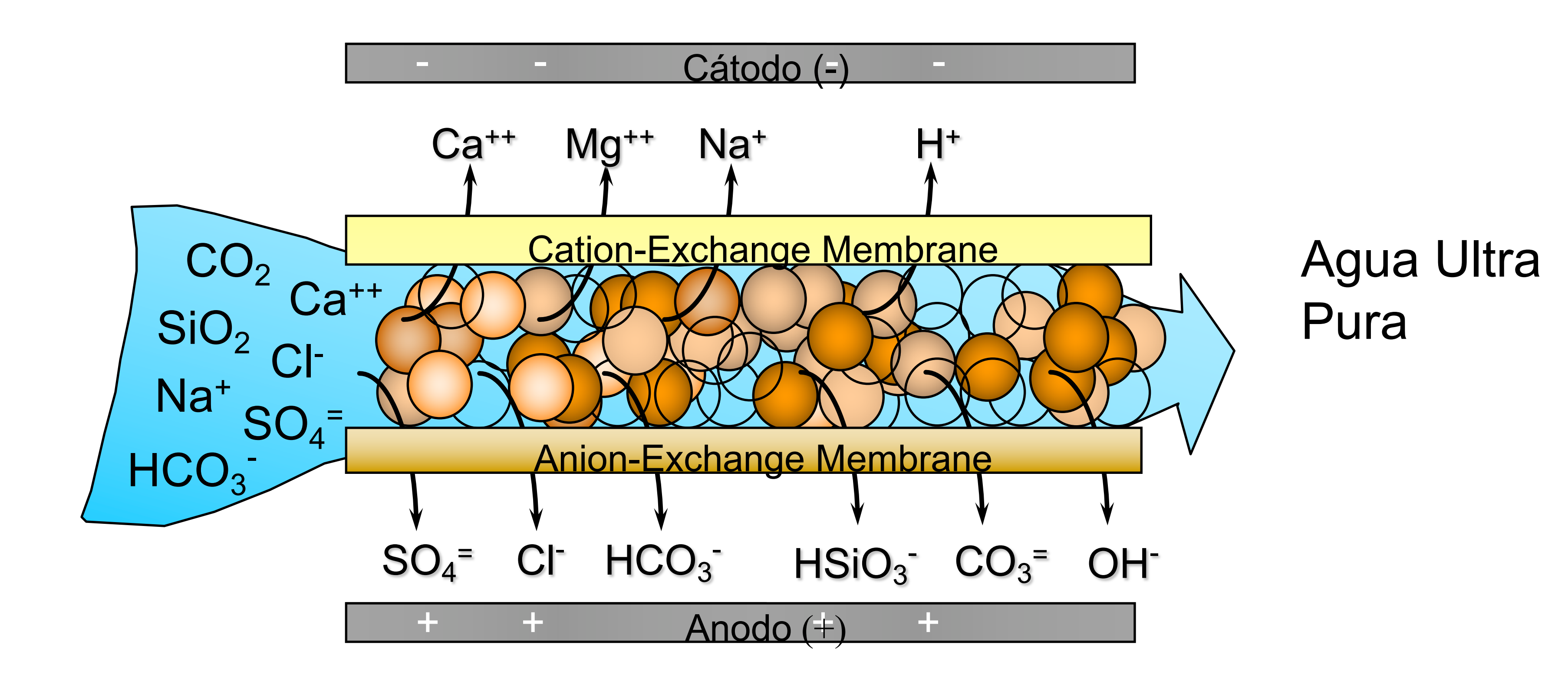
Componentes

* Membranas de intercambio catiónico
* Membranas de intercambio aniónico
* Espaciadores
* Electrodos
* *Lechos mixtos de resinas de intercambio iónico*

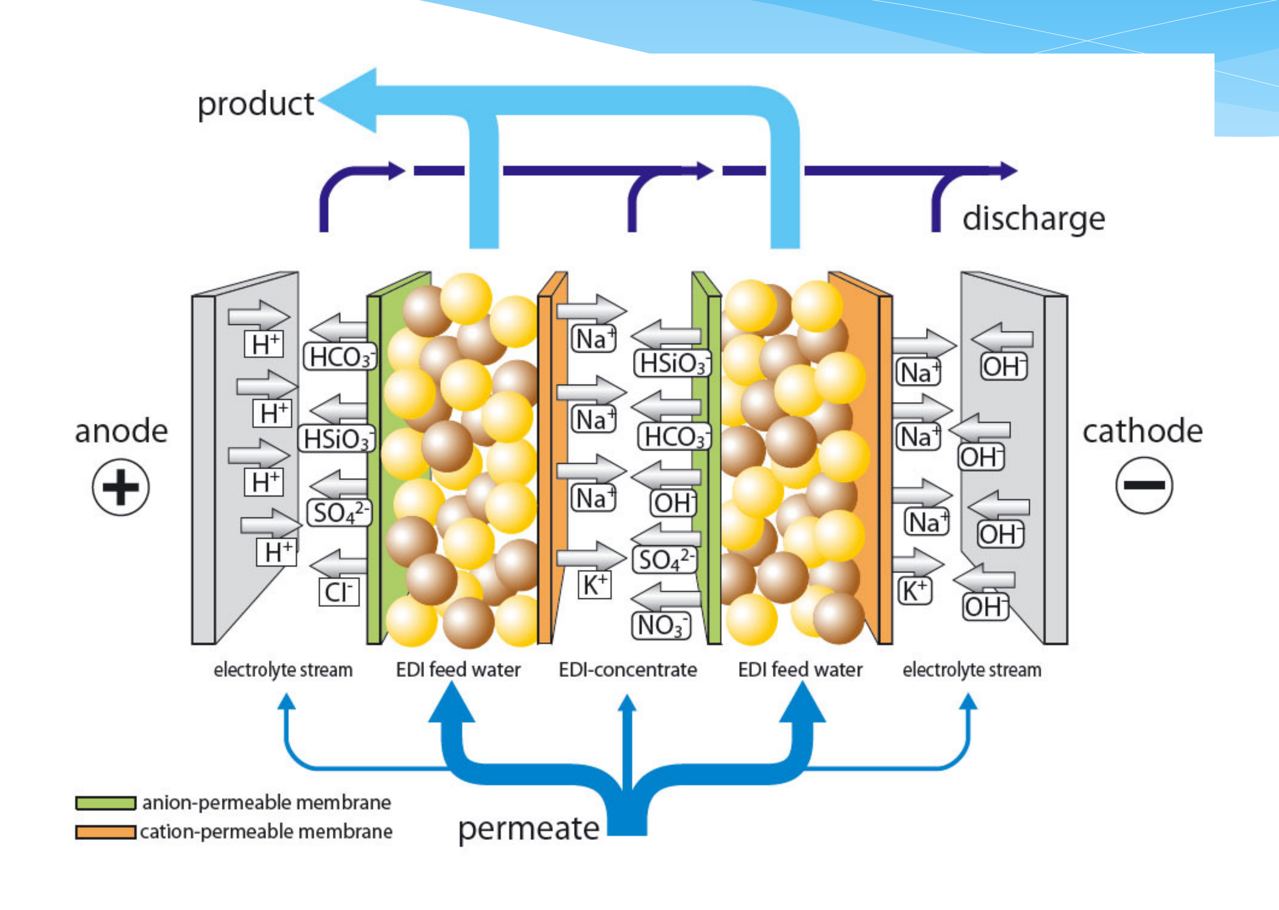
Descripción

* Consiste en una pila de electrodiálisis (No reversible) en la que se introduce resina de intercambio iónico en el espaciador de alimentación.
* Al contrario que la electrodiálisis, trabaja en polarización.
* El objetivo es producir agua ultra pura.

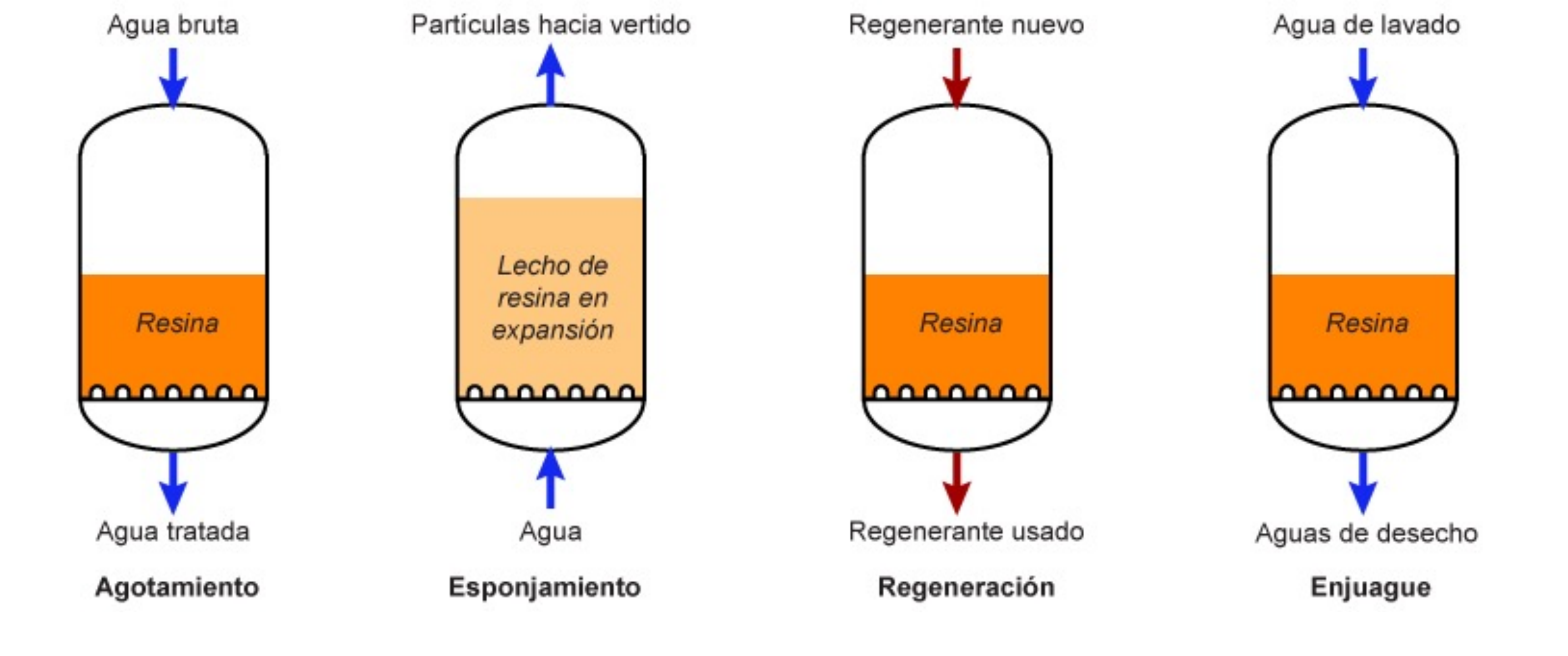
Principios del Proceso



Principios del proceso



Fases del proceso de II



Como trabaja la EDI

- *Régimen de transferencia aumentada*
  - Remueve iones fuertes
- *Régimen de electro regeneración*
  - Remueve especies ionizables (ácidos y bases débiles)

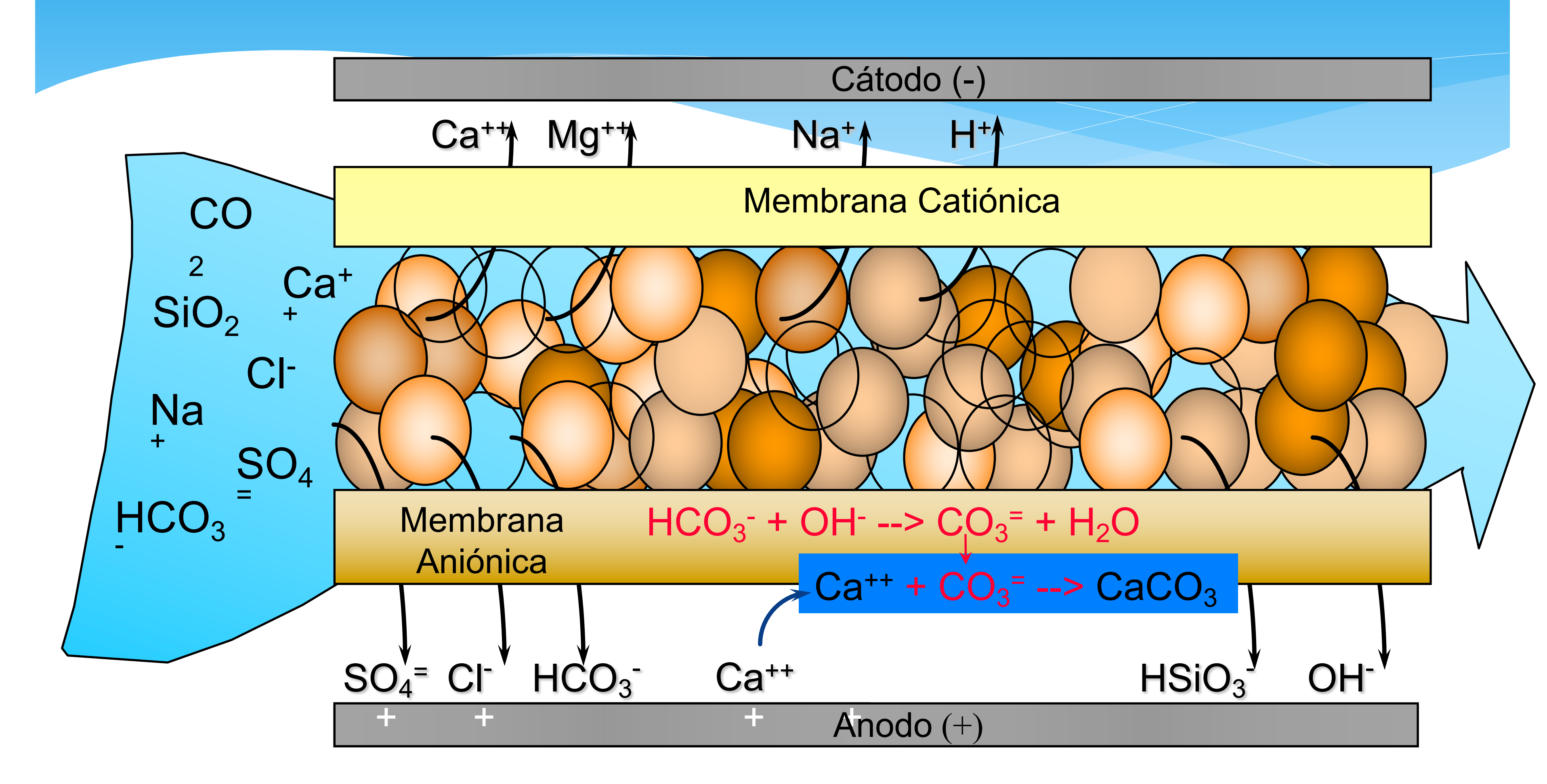
Régimen de transferencia aumentada

- Al contrario que en la electrodiálisis, donde los iones se mueven lentamente al desplazarse en la masa de agua, en la EDI la velocidad es mucho mas rápida al desplazarse en el interior de la resina.
- Por tanto necesita menos tiempo menor longitud de recorrido (Membranas mas pequeñas)

Régimen de transferencia aumentada

* Resina de intercambio iónico
  * Los iones se transfieren desde la solución a las resinas por difusión
  * Los iones se mueven dentro de las resinas debido a la corriente eléctrica
  * Los iones alcanzan las membranas y pasan al flujo de salmuera

Transferencia aumentada



Régimen de electro regeneración

* El objetivo de este régimen es el de convertir en forma iónica a los compuestos que se encuentran en forma molecular (No iónica)
* De esta forma se pueden eliminar casi completamente todos los compuestos existentes, para producir un agua ultra pura.

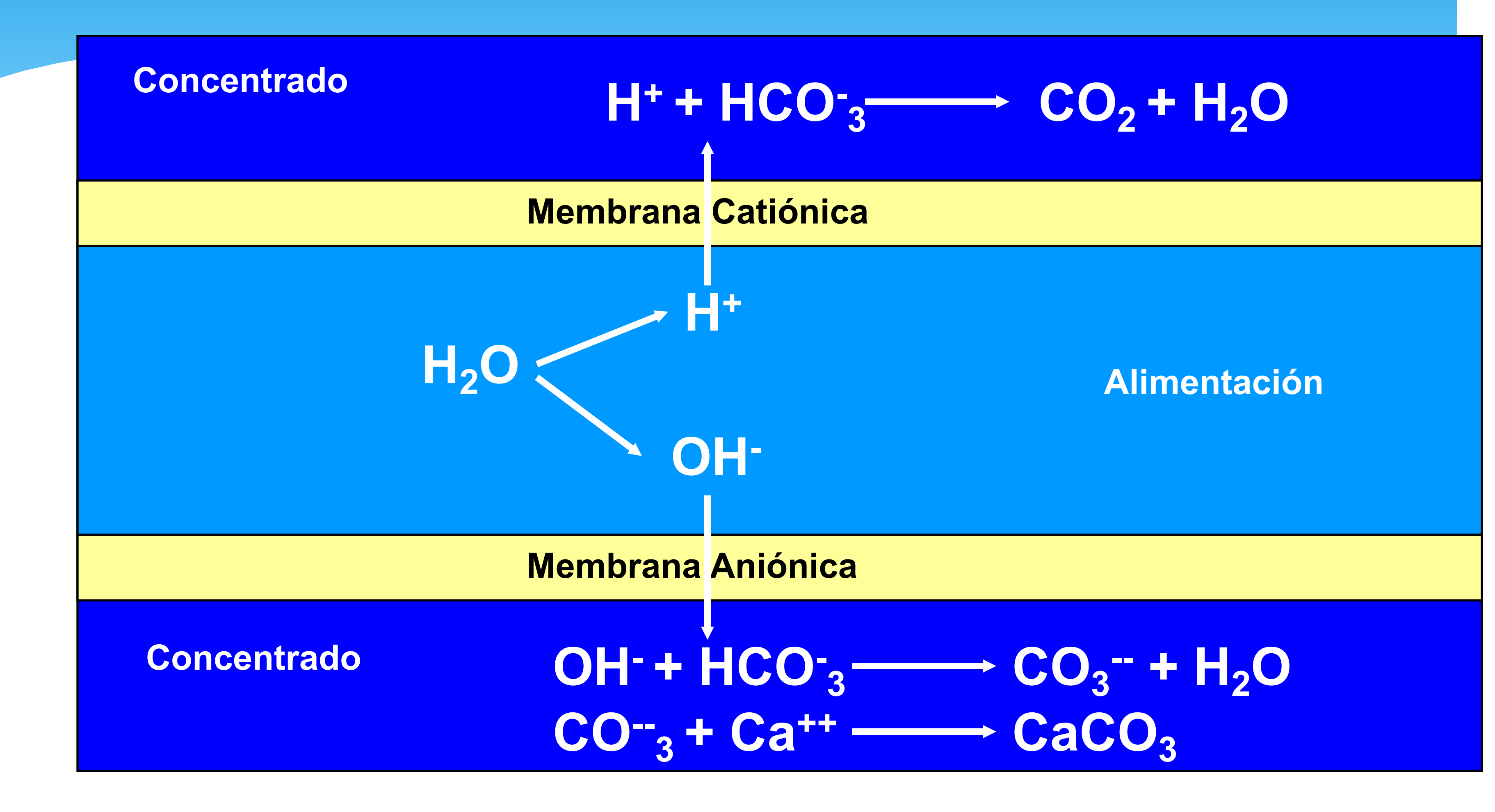
Régimen de electro regeneración

* Para convertir un elemento de forma molecular a iónica, es preciso subir o bajar el pH según el caso.
* Una forma inteligente de realizar esto, es el de producir acido (H^+) y base (OH^-) en la masa de agua sometiéndola a un estado de polarización.

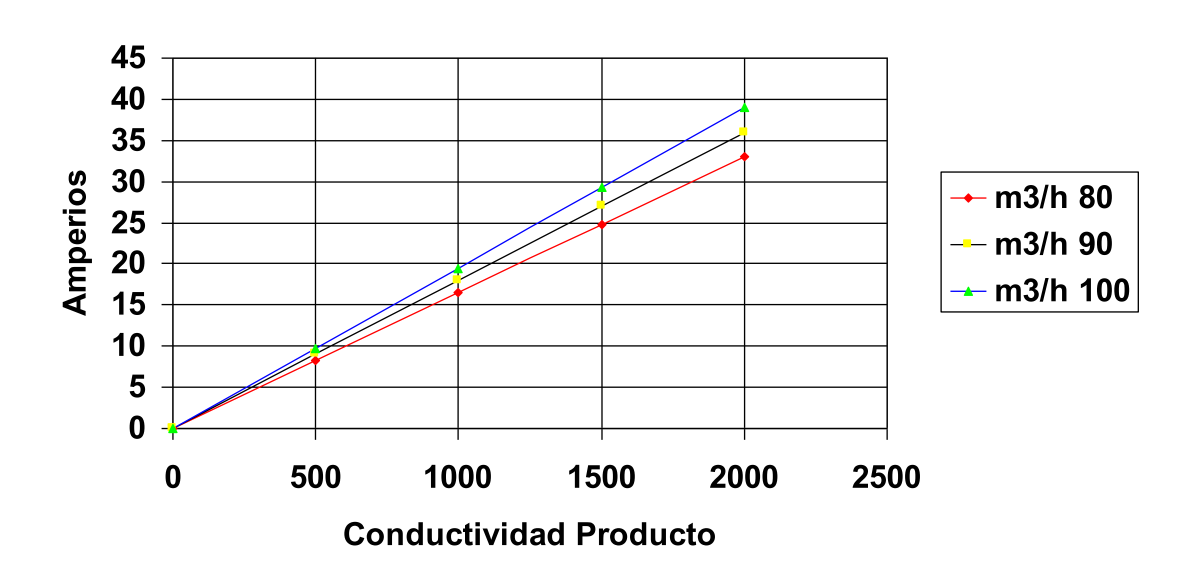
Régimen de electro regeneración

* Resinas en forma de hidrógeno y hidróxido
* Remoción de compuestos débilmente ionizados por reacciones de ionización
  * $CO_2 + OH^- \text{--->} HCO_3^-$ pKa = 6.4
  * $HCO_3^- + OH^- \text{--->} CO_3^=$ pKa =10.3
  * $SiO_2 + OH^- \text{--->} HSiO_3^-$ pKa = 9.8
  * $H_3BO_3 + OH^- \text{--->} H_2BO_3^-$ pKa = 9.2
  * $NH_3 + H^+ \text{--->} NH_4^+$ pKa = 9.2

Polarización



Curvas de Polarización



μS/cm

Principios del Proceso

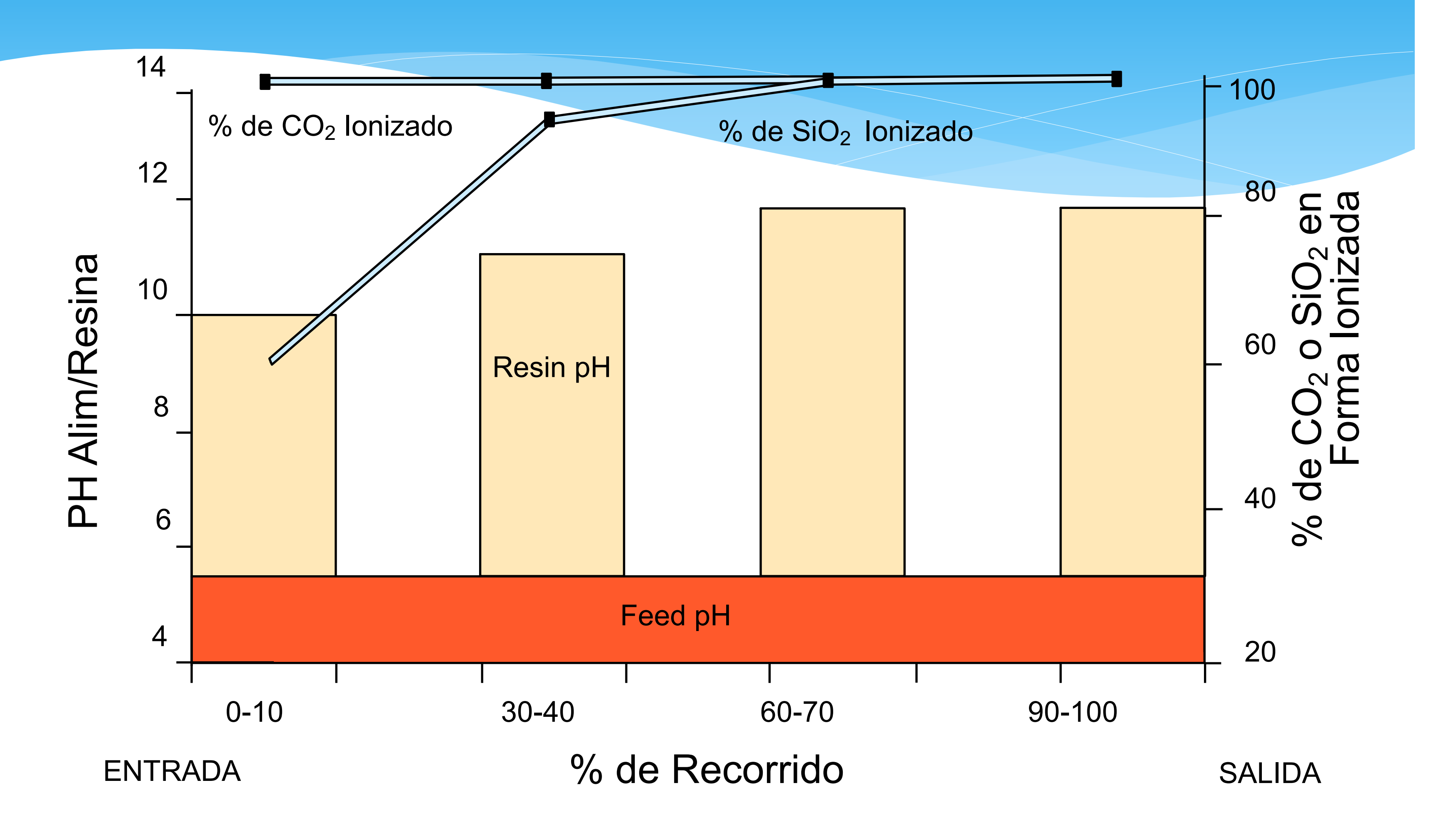
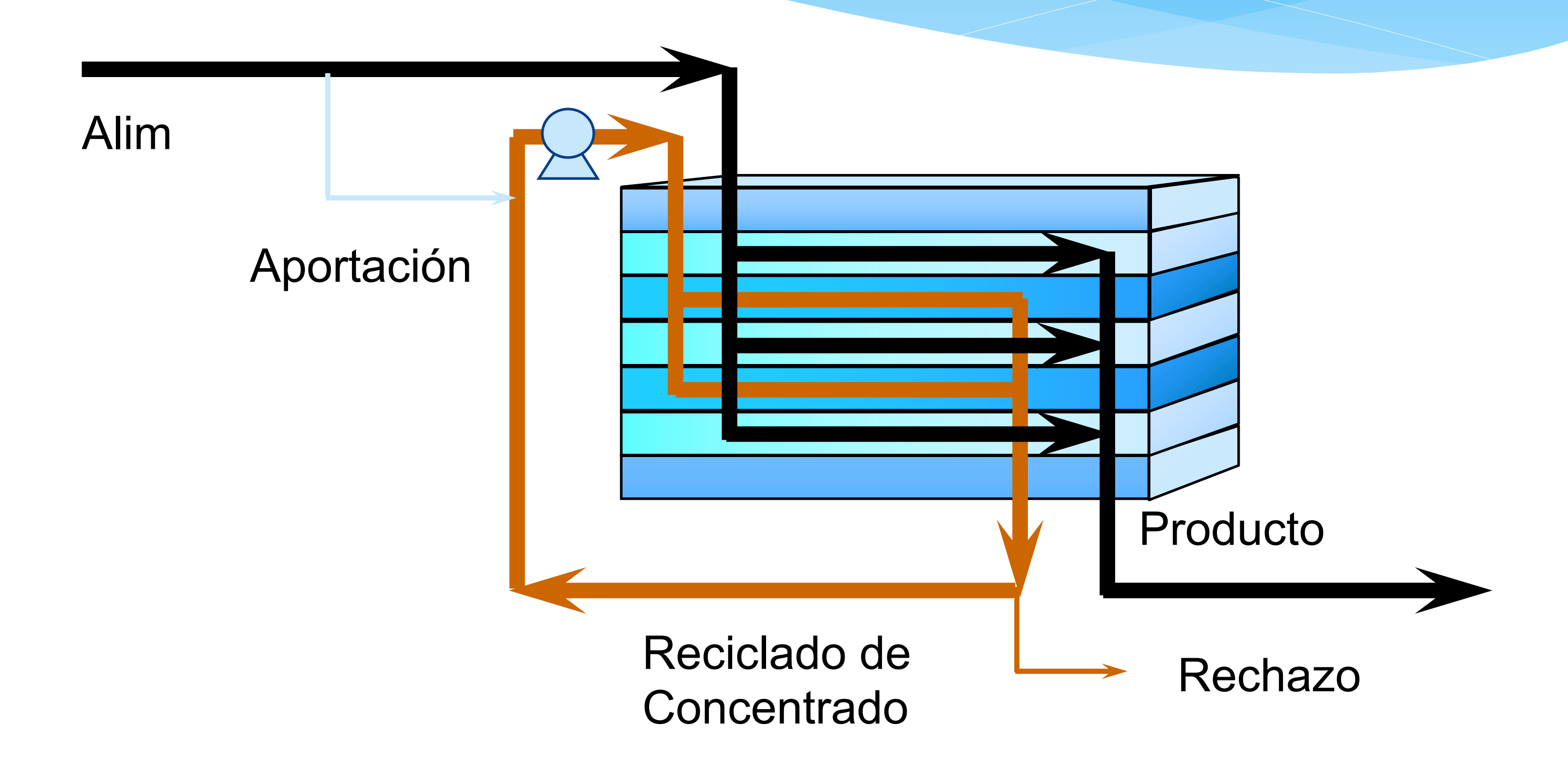


Diagrama de Flujo Simplificado



Componentes de la EDI

- Membranas de intercambio aniónico y catiónico
- Espaciadores
  - Espaciadores de alimentación
  - Espaciadores de concentrado
- Electrodos
- Resina de intercambio iónico

Comportamiento

- El comportamiento de la EDI está afectado por:
  - Calidad del agua de alimentación
  - Corriente eléctrica
  - Recuperación de agua
  - Caudal
  - Temperatura

Requerimientos del agua de Alimentación

- Conductividad: < 40 μS/cm
- Dureza: < 0.25 ppm as $CaCO_3$
- COT: < 0.5 ppm
- Presión: 1,5 to 3 bar
- Temperatura: 10 to 35ºC
- pH: 4 to 10
- Cloro: < 0.1 ppm
- Fe, Mn, Sulfuro: < 0.01 ppm
- CO2 < 10 ppm

Remoción de CO_2 con EDI

- El CO_2 es a menudo la mayor carga en los lechos de intercambio iónico, especialmente después de la O.I.
-
- No se remueve en sistemas de desalación por membranas tales como O.I. y E.D.R., a menos que se hagan ajustes químicos.
-
- Se remueve con EDI > 99%

Remoción de Boro con O.I.

- La remoción de Boro con O.I. depende del pH
- La O.I. no elimina bien el Boro a pH neutro debido a :
  - pobre ionización del ácido bórico
  - pequeño tamaño de la molécula de ácido bórico
- Remoción típica de Boro con O.I.:
  - 30% a 60% a pH neutro
  - >90% cuando > pH10

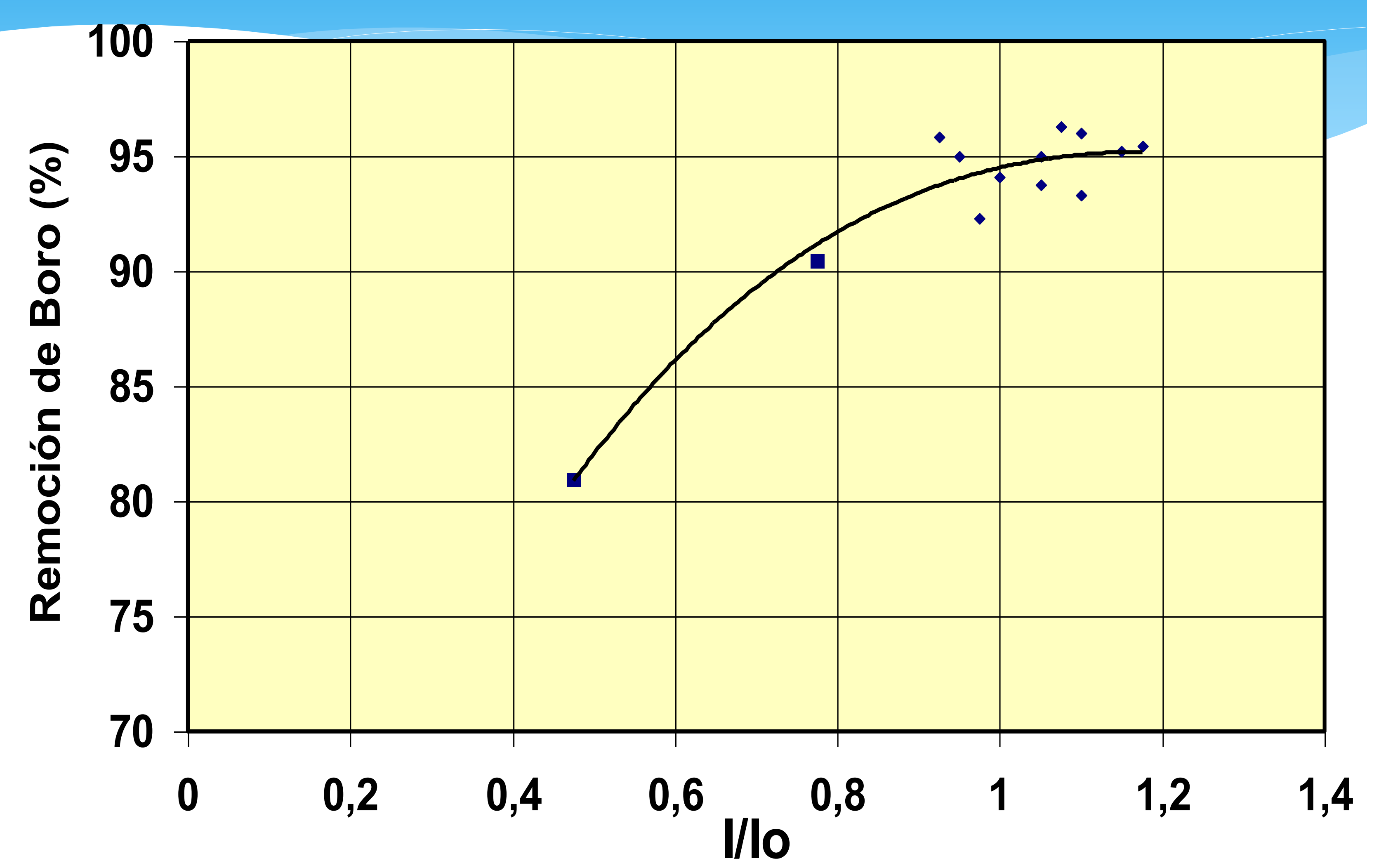
Remoción de Boro con Intercambio Iónico

- El Boro no se remueve bien con intercambio iónico debido a:
  - baja selectividad
  - ionización pobre del ácido bórico
- El Boro es de los primeros en fugar a través del lecho de resinas
- El Boro fuga de 3 a 5 veces más rápido que la sílice

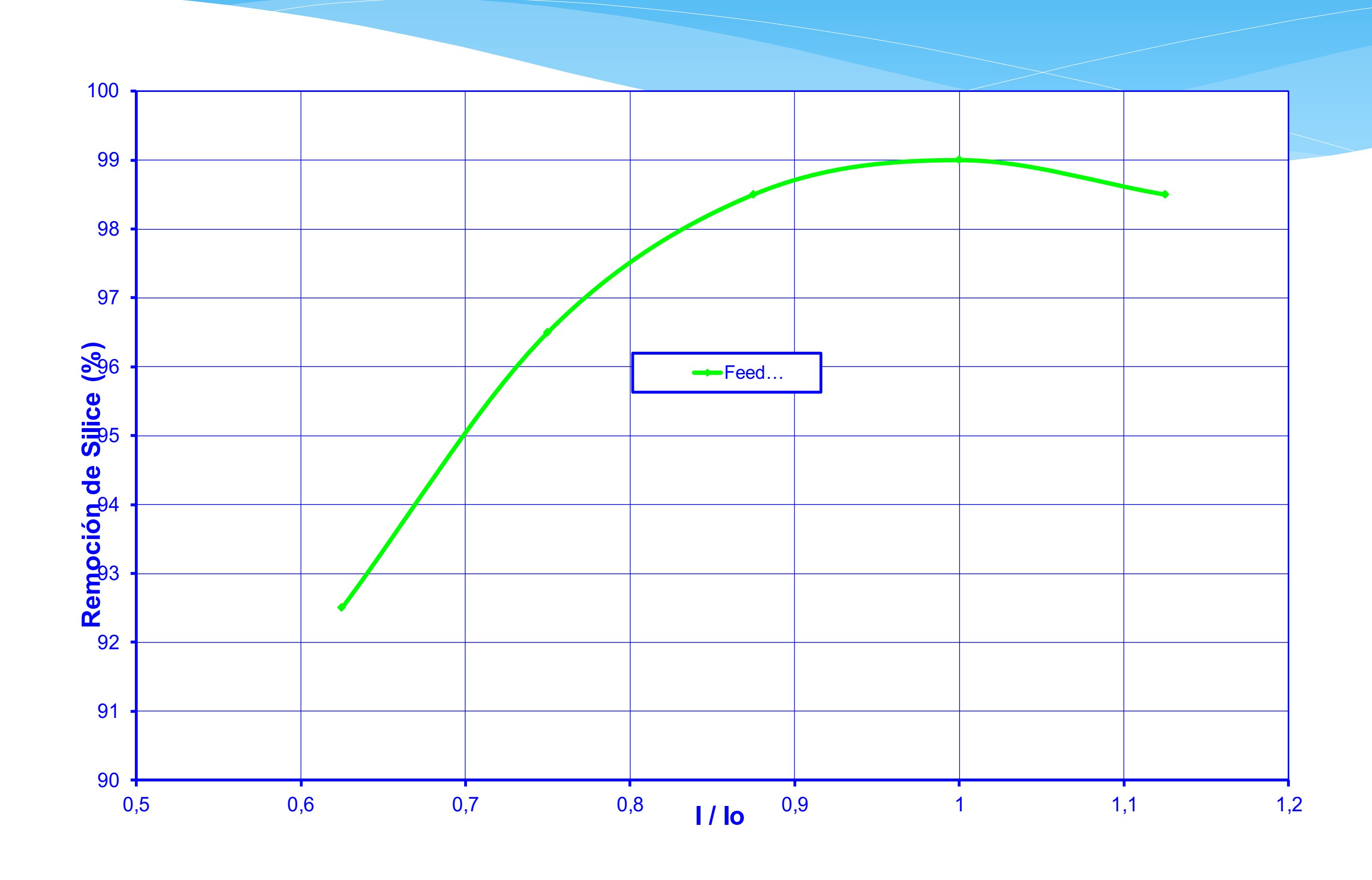
Remoción de Boro con EDI

* El Boro está presente en bajas concentraciones en muchas aguas
* La presencia de Boro no se comprueba con frecuencia
* El Boro causa problemas en la fabricación de semiconductores

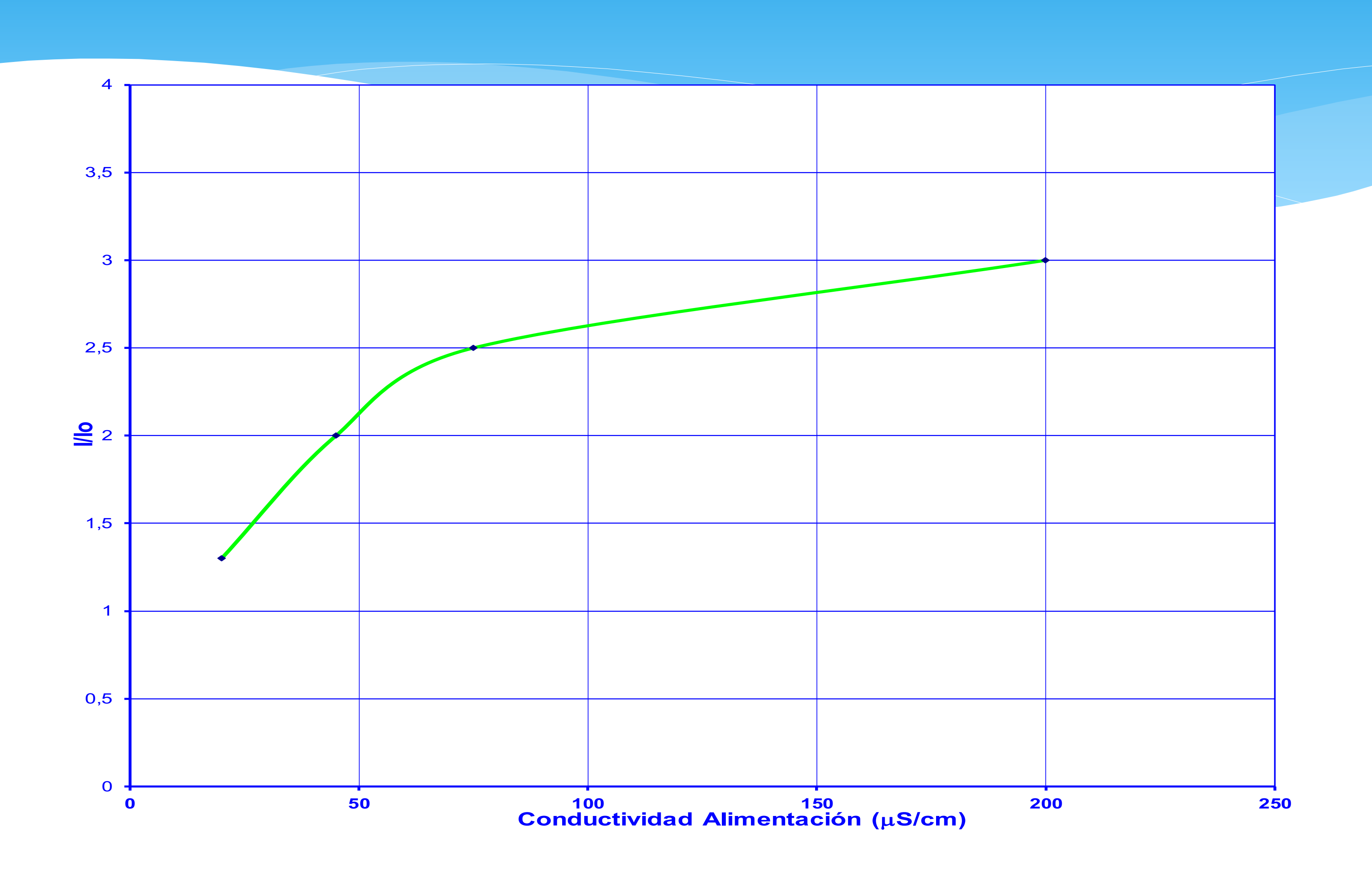
Remoción de Boro con EDI a diferentes densidades de corriente



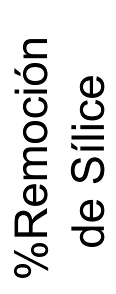
Comportamiento de la EDI con la Sílice a diferentes densidades de corriente



Densidades de Corriente Necesarias para Mantener una Remoción de Sílice >98.5%



Comportamiento de la Sílice con EDI



100%
98%
96%
94%
92%
90%

2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0

Amperios

Remoción de Sílice con EDI

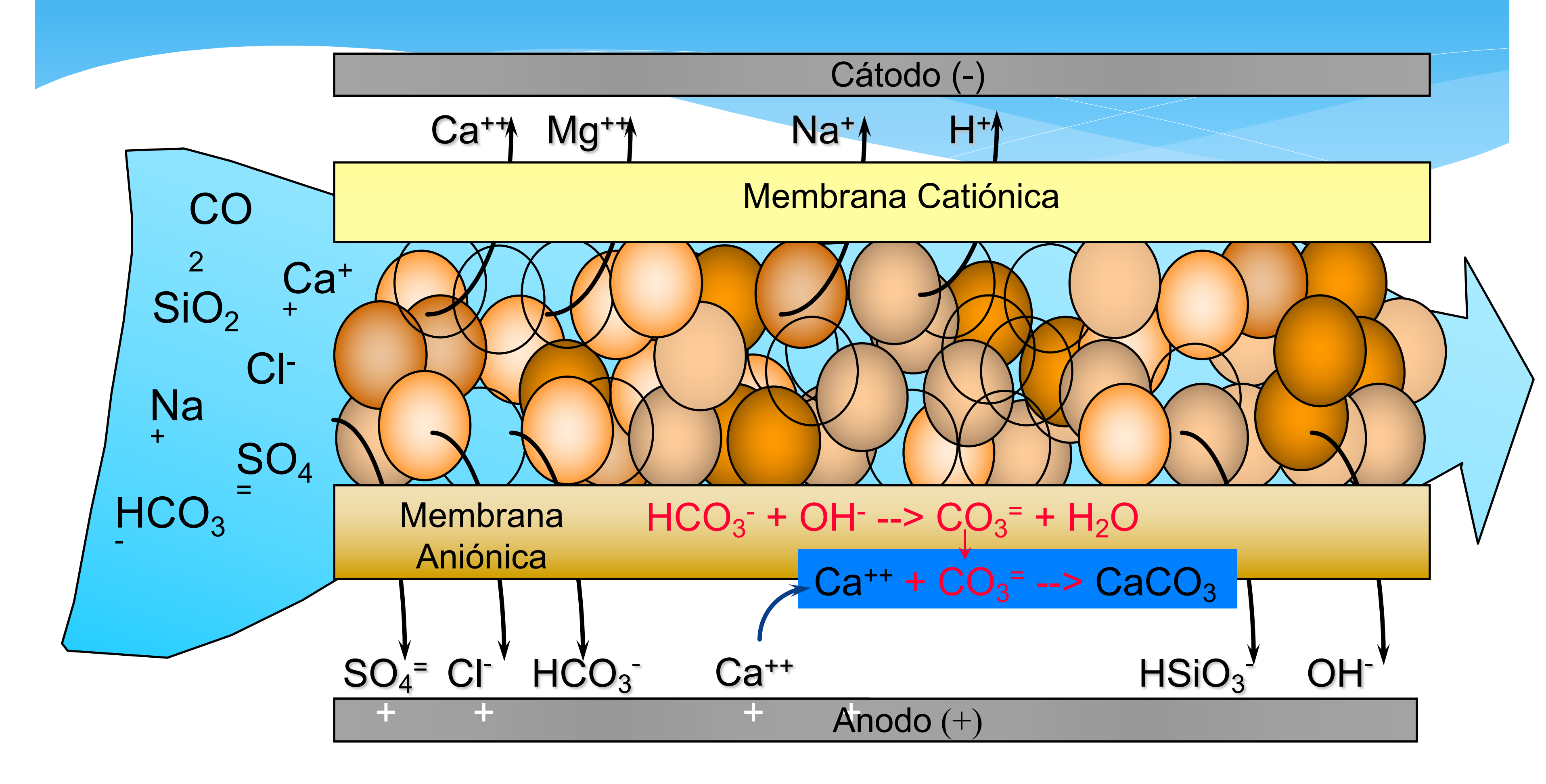
Conclusiones:

* La remoción de sílice con EDI puede controlarse con las condiciones de operación
* La remoción de especies ionizadas debilmente está unida al grado de rotura de la molécula de agua
* Las bases de diseño para la remoción de sílice pueden ser determinadas previamente

Remoción de especies ionizadas debilmente

* Sílice hasta 99%
* CO_2 hasta 99%
* Boro hasta 96%
* Amoniaco hasta 98%

Incrustación en EDI



Pretratamiento

* Pretratamiento mínimo
  * O. I. es necesaria para evitar:
    * Incrustación
    * Ensuciamiento Organico
    * Obstrucción coloidal
    * Ataque oxidativo
    * Limpiezas químicas

Pretratamiento

- Pre tratamiento Opcional
  - Filtro granular
  - Filtro de Carbón Activado
  - Desgasificación
  - UF
  - Ablandamiento
  - UV

HISTORIA DEL DISEÑO

2014

UF — OI — EDI

2006 - 2013

Pretratamiento — 2 Paso OI — EDI

1995 - 2005

Pretratamiento — OI — Lechos mixtos

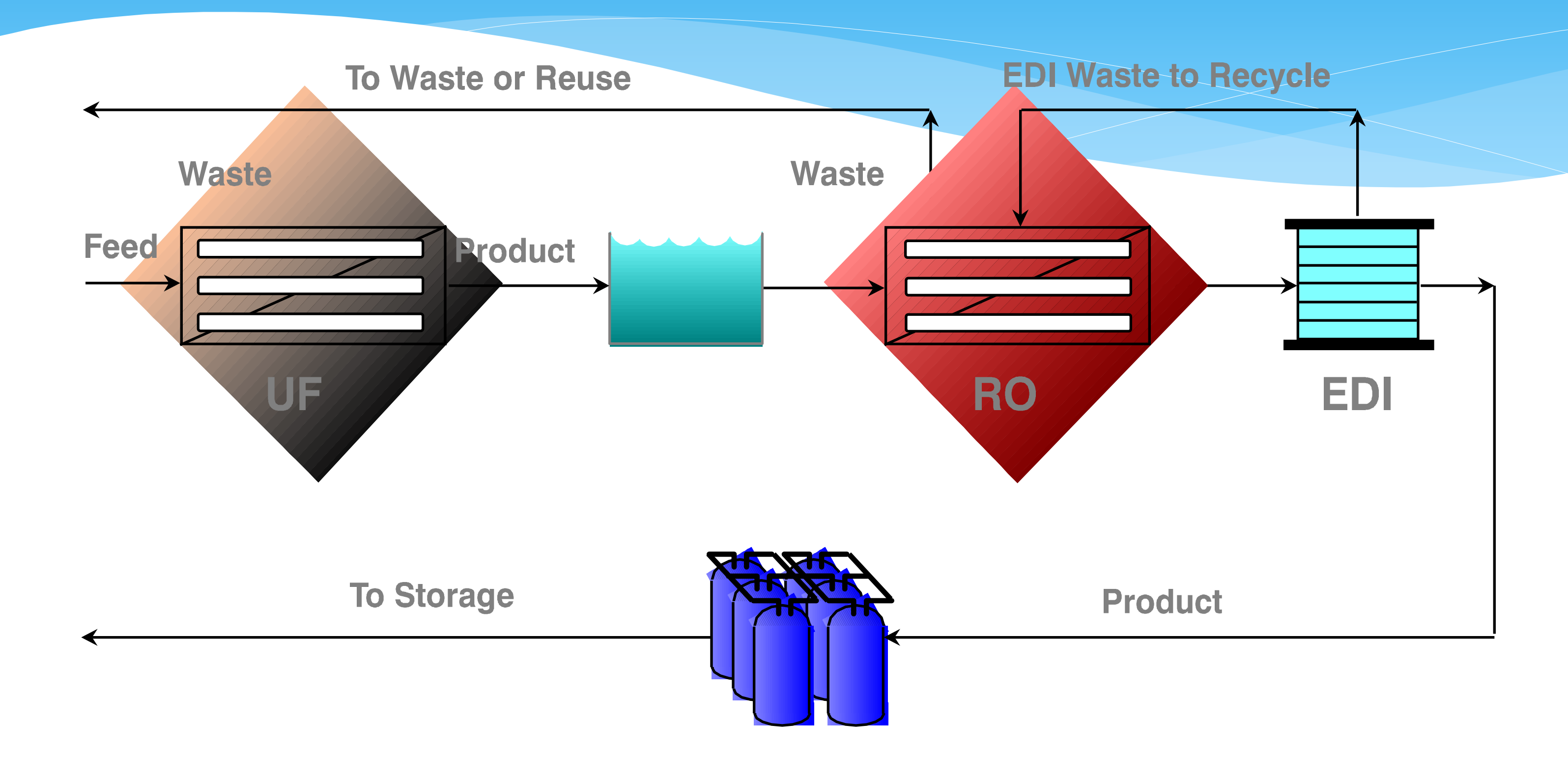
Before 1980

Pretratamiento — Cation/Anion — Lechos mixtos





Proceso de triple membrana



Beneficios de ésta Tecnología

- Proceso contínuo con calidad estable del producto.
- No se requieren regenerantes ácidos o caústicos.
- Sin fugas ni paradas por regeneración
- No necesita agua ultrapura para enjuague
- Produce agua de alta resistividad con un recobro alto (95%)

Beneficios adicionales

- No hay desecho de regeneración
- No hay necesidad de una planta de tratamiento del desecho
- Elimina los tanques de almacenamiento de ácido y sosa
- Elimina los sistemas de dilución de ácido y suministro
- Seguro (No hay manejo de quimicos)

Resultados Típicos

Resultados depués de O.I.:

- 99.5% de remoción de sales
- Resistividad hasta 18+ MΩ-cm
- 95% ~ 99+% de remoción de sílice
- Hasta 96+% de remoción de boro
- Hasta 99+% de remoción de CO_2

Mercados principales



- **Energía**



- **Semiconductores**





- **Farmacéutica**

Capacidad instalada:

- Mas de 150 000 m³/h (2013)
- Mas de 3 000 instalaciones (capacidad >5 m³/h)

Calidad de agua de calderas - ASME

Table 1: ASME Suggested Water Chemistry Limits[1]

	Drum Operating Pressure, psi (MPa)[2]			
	751 – 900 (5.18-6.21)	901 – 1000 (6.22 - 6.89)	1001 – 1500 (6.90 - 10.34)	1501 – 2000 (10.35 - 13.8)
Feedwater				
Dissolved Oxygen, ppm (mg/L) O_2	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007
Total Iron, ppm (mg/L) Fe	= 0.02	= 0.02	= 0.01	= 0.01
Total Copper, ppm (mg/L) Cu	= 0.015	= 0.01	= 0.01	= 0.01
Total Hardness, ppm (mg/L) as $CaCO_3$	= 0.1	= 0.05	ND	ND
pH @ 25°C (77°F)	8.3-10.0	8.8 - 9.6	8.8 - 9.6	8.8 - 9.6
Preboiler System Protection Chemicals, ppm	NS	VAM	VAM	VAM
Nonvolatile TOC, ppm (mg/L) as C	< 0.5	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Oily Matter, ppm (mg/L)	< 0.5	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Boiler Water				
Silica, ppm (mg/L) SiO_2	= 20	= 8	= 2	= 1
Total Alkalinity, ppm (mg/L) as $CaCO_3$	< 150	< 100	NS	NS
Free OH Alkalinity, ppm (mg/L) as $CaCO_3$	NS	NS	ND	ND
Specific Conductance, mS/cm	1,200-200	1,200-200	= 150	= 80
Steam Purity				
Total Dissolved Solids, ppm (mg/L)	0.5-0.1	0.5-0.1	0.1	0.1

[1] Refer to all applicable notes from ASME associated with this table for important information.

[2] NS = not specified; ND = not detectable; VAM = volatile alkaline materials.

Diferentes diseños de pila de EDI



Módulo de EDI



Mantenimiento de la Pila

* Incrustación
  * Incrementa la resistencia de la pila
  * Reduce el caudal de salmuera
  * Disminuye la remoción de Sílice
  * Disminuye la resistividad del producto

Mantenimiento de la pila

* Como controlar la incrustación
  * Ph de la salmuera 3 o menor
  * Ablandador previo
  * Reducir la recuperación de agua
  * OI eficaz

Mantenimiento de la pila

- Ensuciamiento
  - Aumenta la resistencia de la pila
  - Disminuye la remoción de sílice
  - Disminuye la resistividad del producto
  - Aumenta la presión diferencial

Mantenimiento de la pila

* Como controlar el ensuciamiento
  * Filtros de carbón activado
  * Rayos UV
  * OI eficaz

Mantenimiento de la pila

* Si las bacterias crecen en el flujo de salmuera
  * El caudal de salmuera disminuye
  * Alto recuento de bacterias en la salmuera
* Como controlar las bacterias
  * Desinfectar la salmuera periodicamente con
    * 0.1 to 0.2 ppm de cloro

Limpieza de la pila

- Limpieza en sitio (CIP)
  - Solución ácida al bucle de salmuera
    - pH 1.5 durante horas
  - O
    - pH 1 o menor durante 30 min minimo.
  - Solución de sal y sosa a los conductos de diluido
    - 10% sal
    - pH 11
    - 40º C